

先進レーダ衛星による地球観測

ALOS-2 follow-on L-band SAR mission

*飛田 幹男¹、本岡 毅¹

*Mikio Tobita¹, Takeshi Motohka¹

1. 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

1. Japan Aerospace Exploration Agency

1. はじめに

JERS-1 (1992-1998) と ALOS (2006-2011) に続いてLバンドSARセンサPALSAR-2を搭載して2014年5月に打ち上げられたALOS-2 (だいち2号) は、災害状況把握の他、地殻変動や森林変化のマッピング等で活用されている。こうした地球観測を継続・強化するため、JAXAはALOS-2の後継衛星として「先進レーダ衛星」の打ち上げを2020年度に計画している。次節で、先進レーダ衛星ミッションを紹介する。

2. 先進レーダ衛星ミッションの概要

先進レーダミッションの主な目的・目標は：

- (1) 地殻変動・地盤変動の監視 (早期把握により、社会への注意喚起を目指す)
- (2) 災害状況把握能力の向上 (広域の高頻度観測)
- (3) ALOS-2ミッションの森林観測、海氷監視、船舶動静把握等の継続的かつより高度な活用
- (4) InSAR時系列解析によるインフラ変位モニタのような新分野での利用の実用化である。

これらの目的のために、先進レーダ衛星には、ALOS-2と同等の分解能を維持しつつより広い観測幅を持つこと、及びALOS-2との干渉性を確保するためALOS-2と同一軌道とすることが要求される。そのため、LバンドSARセンサであるPALSAR-2の後継PALSAR-3では、新たにデジタルビームフォーミング(DBF)を採用し、3m分解能のStripmapモードの観測幅を200 km (ALOS-2では50 km) に飛躍的に拡大する設計となっている。この200 kmの観測幅は、世界全体を14日 (ALOS-2の同モードでは56日) でカバーできるなど、観測頻度向上をもたらす。南海トラフ沿いの地震等による広域の災害に備え、ScanSARの観測幅は (ALOS-2の350 kmと490 kmから) 700 kmまで広げる。取得データの容量増加に伴い、高容量データレコーダと高いデータ伝送速度を持ったダウンリンク設備を準備している。先進レーダ衛星の主な使用をTable 1 に示す。

Table 1. Characteristics of the ALOS-2 follow-on mission (ALOS-4)

- 1) Orbit : Same orbit as ALOS-2,
Sun-synchronous sub-recurrent orbit
Altitude 628 km
Inclination angle 97.9 degree
Local sun time 12:00 ±15 min. at descending
Revisit: 14 day
Orbit control: within ±500 m from the reference orbit
- 2) Lifetime : 7 years
- 3) Satellite Mass: Approx. 3 tons
- 4) Duty Ratio : maximum 50% (approx. 50 min.)
- 5) Data Recorder : 1 TByte
- 6) Downlink : Ka-band (16QAM): 3.6/1.8 Gbps
Optical link (date relay): 1.8 Gbps
- 7) Launch : JFY 2020, H3 launch vehicle

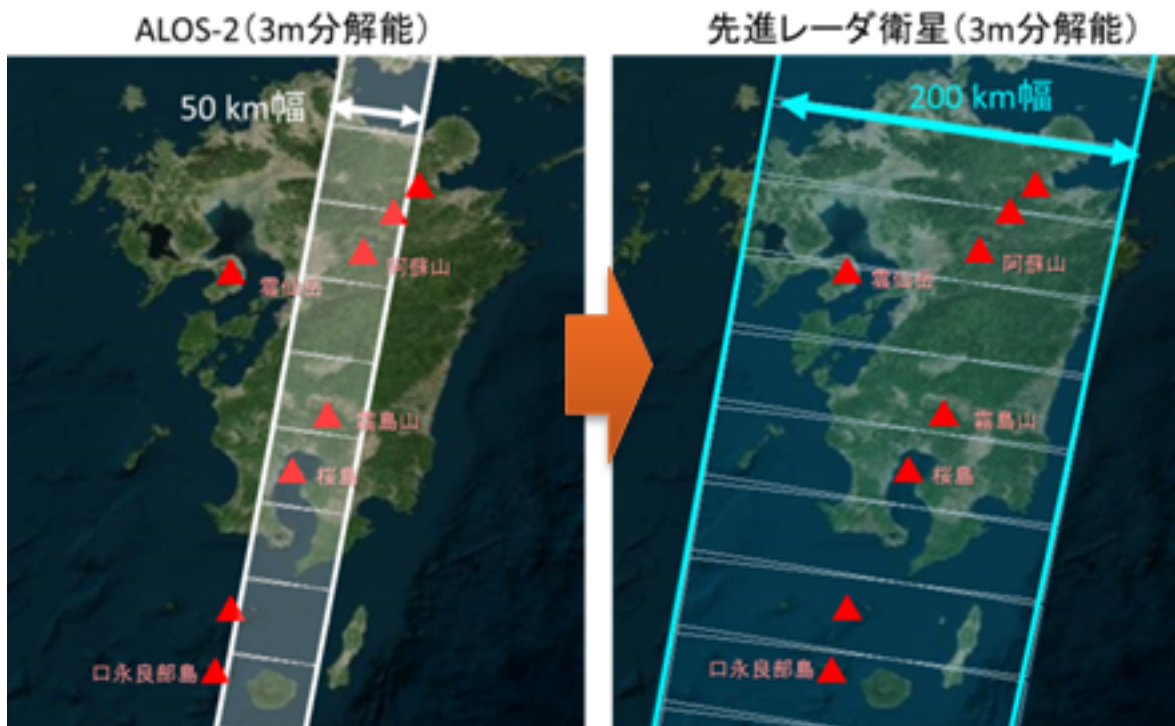
8) Mission Instruments : PALSAR-3 (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-3), SPAISE3 (SPace based AIS Experiment 3)

先進レーダのミッション・技術・仕様に関する情報は次のURLにある：

http://www.satnavi.jaxa.jp/project/senshin_radar/

キーワード：先進レーダ衛星、合成開口レーダ、Lバンド、だいち2号、PALSAR-3

Keywords: ALOS-4, Synthetic Aperture Radar (SAR), L-band, ALOS-2, PALSAR-3



円偏波合成開口レーダ搭載無人航空機・航空機の小型衛星の開発 Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar onboard UAV, Aircraft and Microsatellite

*スリスマンティヨ ヨサファットテトオコ¹

*Josaphat Tetuko Sri Sumantyo¹

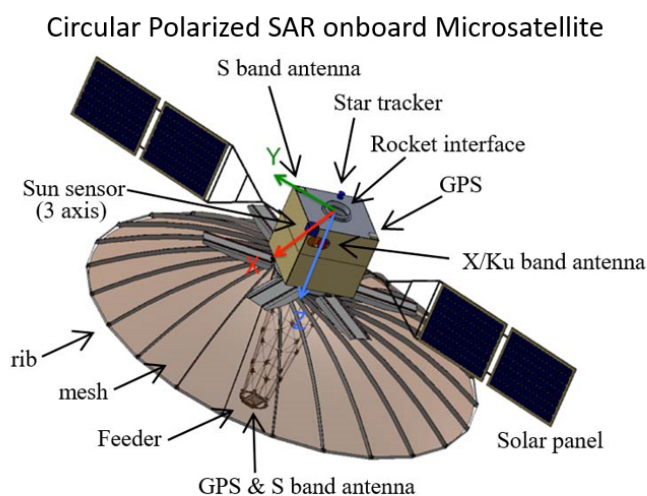
1. 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

1. Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

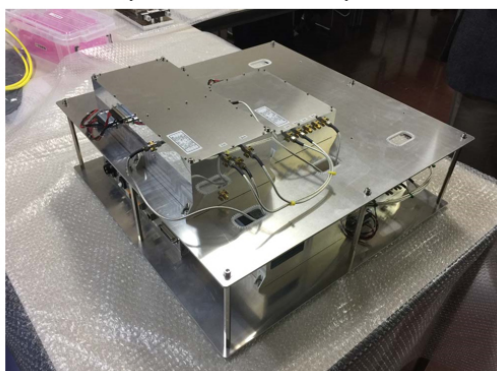
現在、千葉大学がグローバル地殻変動観測用の円偏波合成開口レーダ（SAR）搭載小型衛星（150kg級）を開発している。本発表では、小型衛星の打ち上げに向けて、飛行実証実験用無人航空機（UAV）・Boeing 737-200搭載用の円偏波合成開口レーダの開発を紹介する。また、電波無響室内におけるフル偏波の円偏波合成開口レーダの散乱実験の成果も紹介する。小型衛星開発の進捗状況であるパラボラメッシュアンテナ、展開系、RFシステムなども報告する。

キーワード：合成開口レーダ、円偏波、小型衛星、航空機、無人航空機

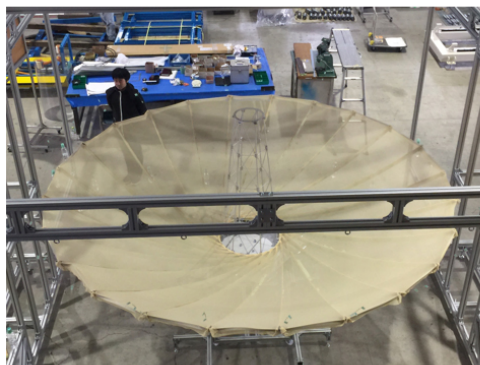
Keywords: Synthetic Aperture Radar, Circular Polarization, Microsatellite, Aircraft, UAV



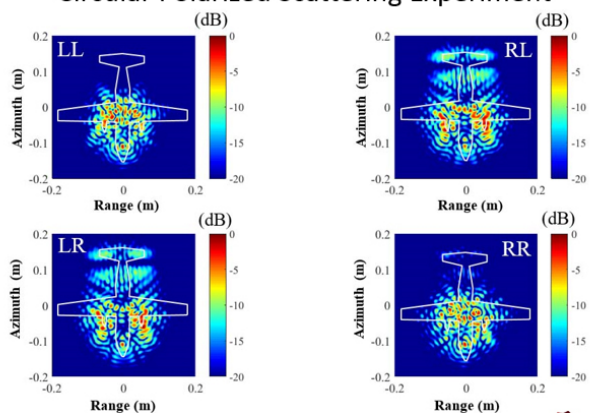
Electronics System of Circularly Polarized SAR



Parabolic Mesh Antenna for Microsatellite SAR



Circular Polarized Scattering Experiment



Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University



Implementation of Circular Polarization on SAR

*泉 佑太¹、スリスマンティヨヨサファット テトオコ¹、デミルチセブケト²、バハルディンモハメドザフリ³

*Yuta Izumi¹, Josaphat Tetuko Sri Sumantyo¹, Sevket Demirci², Mohd Zafri Baharuddin³

1. 千葉大学、2. メルスイン大学、3. テナガ国立大学

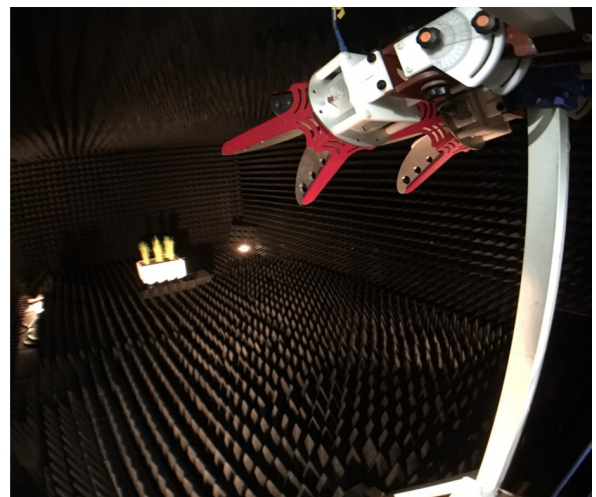
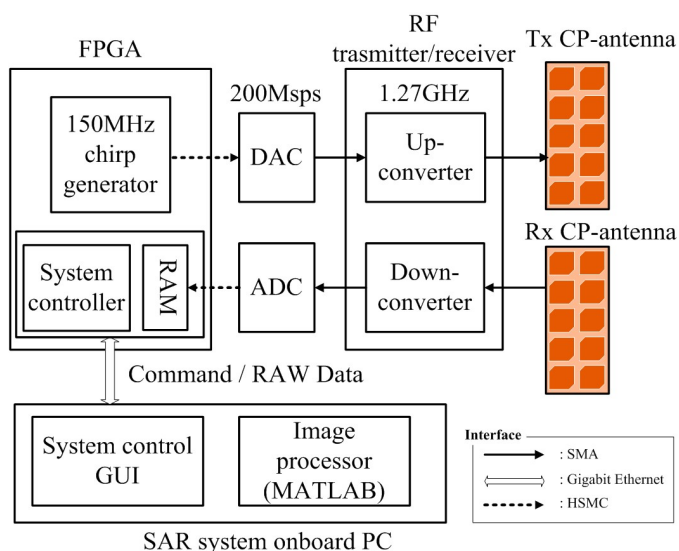
1. Chiba University, 2. Mersin University, 3. Tenaga National University

The classical synthetic aperture radar (SAR) that adopts linear polarization (horizontal (H) and vertical (V) polarization) is known to be an effective way for monitoring the Earth surface. We approach new SAR configuration that adopts circularly polarized antennas on both transmitter and receiver, namely, circularly polarized SAR. The circularly polarized SAR is known as a robust system for polarization mismatch losses caused by the Faraday rotation effect and antenna misalignment. Also, that of dual polarimetric mode have shown the very promising result regarding classification capability, which is known as compact polarimetry.

To implement and study this concept, we developed circularly polarized SAR constructed by field programmable gate array (FPGA), RF transmitter/receiver, PC, and microstrip circularly polarized patch array antennas, developed for unmanned aerial vehicle (UAV). Also, circularly polarized SAR imaging and target decomposition analysis have been conducted by vector-network analyzer-based circularly polarized SAR system with proper polarimetric calibration technique. For applying to complex real world target, we conducted long-term rice monitoring using ground-based circularly polarized SAR.

キーワード：合成開口レーダ、円偏波、ポラリメトリ

Keywords: SAR, Circular polarization, Polarimetry



南極氷床における高精度氷流速度マッピングへの取り組み

Approach to high precision ice flow velocity mapping on Antarctic ice sheet

*白水 薫¹、土井 浩一郎^{1,2}、青山 雄一^{1,2}

*Kaoru Shiramizu¹, Koichiro Doi^{1,2}, Yuichi Aoyama^{1,2}

1. 総合研究大学院大学、2. 国立極地研究所

1. The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 2. National Institute of Polar Research

Observing temporal variations in ice flow velocities on glaciers and ice sheets is very important for understanding changes in the surrounding environment. We applied Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) and offset tracking to SAR data obtained on Antarctic ice sheet and glaciers for estimating the ice flow velocity.

DInSAR can estimate the velocities of gentle flow on ice sheet and upstream area of glaciers with high ground resolution (several meters), but it is inadequate to observe the displacement exceeding one pixel size of SAR image at downstream area of glaciers during the observation period. Offset tracking method is suitable for estimating the fast ice flow, although the displacement image obtained by this method has low ground resolution (more than 100m). Therefore, by combining these two methods selectively according to the ice flow velocity, it allows us to make an ice flow velocity map over wide area of the Antarctic ice sheet.

As a first step to combine the ice flow velocity maps estimated by DInSAR and the offset tracking, we compared these maps including their accuracy on the overlapped region. The study area was the ice sheet and glaciers around Skallen in the southern part of Sôya Coast, East Antarctica. We used 13 pairs of ALOS/PALSAR data and 2 pairs of ALOS-2/PALSAR-2 data, acquired during the period from November 2007 to January 2011 and from April 2014 to May 2015, respectively. GAMMA software was used for these analyses. The accuracy of the ice flow velocity estimated by DInSAR was approximately 0.04 m/day based on the GNSS measurements on the Antarctic ice sheet (Shiramizu et al., 2016). Based on this verification, we also verified the accuracy of the ice flow velocity estimated by offset tracking.

In this study, we will show the comparison result of two ice flow velocity maps obtained by DInSAR and offset tracking and discuss an approach for combining these ice flow velocity maps with the high precision.

キーワード : DInSAR、offset tracking、南極氷床、氷流速度

Keywords: DInSAR, offset tracking, Antarctic ice sheet, ice flow velocity

カナダ・ユーコン地域Steele Glacierにおける氷河サージ発生メカニズム: 2011-2016年のサージについて

Glacier surge mechanism of Steele Glacier in Yukon, Canada: the 2011-2016 surging episode

*阿部 隆博¹、古屋 正人²、榊原 大貴^{3,4}

*Takahiro Abe¹, Masato Furuya², Daiki Sakakibara^{3,4}

1. 北海道大学大学院理学院、2. 北海道大学大学院理学研究院、3. 北海道大学北極域研究センター、4. 北海道大学低温科学研究所

1. Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, 2. Department of Earth and Planetary Dynamics, Hokkaido University, 3. Arctic Research Center, Hokkaido University, 4. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

Glacier surge is a periodical orders-of magnitude speed-up event during a short active phase, accompanying terminus advance and ice thickness changes. Near the border of Alaska and Yukon, Canada, there are numerous surge-type glaciers, and their behaviors has received a good deal of scientific attentions. To date, the dynamics have been examined at some surge-type glaciers, but there remain some questions about the generation mechanism.

High-quality images of recent satellites have allowed us to capture the evolutions of surging episodes with high temporal resolution. Steele Glacier in the southwest Yukon is one of the recently activated surge-type glaciers after the quiescence of ~50 years. It experienced the last surge in 1965-1967, and the peak speed was about 24 m/d in early summer 1966 (Stanley, 1969). However, the details of the surging evolution remain unclear. Here we examined the spatial and temporal changes in ice speed, ice thickness and moraines associated with the recent event for the first time in ~50 years.

We used ALOS/PALSAR, Landsat-7, Landsat-8, and Sentinel-1A images to derive the ice speed evolution between 2007 and 2016. Although we have no data in late 2011-early 2013 due to the data availability, RADARSAT-2-based velocity data (Waechter, 2013) showed the latest surge initiated in 2011, and the Sentinel-1A-based velocity data showed it terminated in fall 2016. The observed maximum speed was greater than 20 m d⁻¹ in early summer 2015, whereas the quiescent speed was ~0.4 m d⁻¹ between 2007 and 2011. The rapid acceleration changed the ice thickness, which is revealed by Terra/ASTER DEMs. In 2006-2011, the ice thickened above the confluence. In 2013-2016, the ice thickened in the middle and downstream region, while it thinned above the confluence.

Based on the ice thickness changes and the moraine movements, the surge started at the confluence of Hodgson and Steele Glaciers. We will discuss the surge mechanism based on the diverse datasets.

キーワード : 氷河サージ、ALOS/PALSAR、Landsat、Sentinel-1

Keywords: Glacier surge, ALOS/PALSAR, Landsat, Sentinel-1

JICA-JAXA熱帯林早期警戒システム(JJ-FAST)のため
の、PALSAR-2/ScanSARを使った早期森林伐採検出手法(アドバンスト)の
検討 3 –南米での時系列解析結果 –
Development of early deforestation detection algorithm (advanced)
with PALSAR-2/ScanSAR for JICA-JAXA program (JJ-FAST) 3 –Time
series analysis in South America –

*渡辺 学¹、コヤマ クリスティアン¹、林 真智²、三好 寛²、島田 政信^{1,2}

*Manabu Watanabe¹, Christian Koyama¹, Masato Hayashi², Hiroshi Miyoshi², Masanobu Shimada^{1,2}

1. 東京電機大学 理工学部、2. JAXA

1. School of Science and Engineering, Tokyo denki university, 2. JAXA

Time series PALSAR-2/ScanSAR data were used for detecting early-stage deforestation. The data were taken 9 times/year, following ALOS-2 systematic observation strategy [1], and it covers global areas, including major tropical forest in the world. By using this data, JICA and JAXA launched a service, “JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics (JJ-FAST)” in November 2016 [1]. The system is on the web, and is freely accessible from a smartphone or other devices. Decrease of Γ_{HV}^0 are observed after deforestation, and current algorithm uses HV polarization data and two data taken in different timing. HH polarization, and time series data will be used for the future operation. Time series data obtained in South America with HH and HV polarizations were used, and compared it to the Landsat data to clarify the ability to detect the early-stage deforestation, where fallen trees were left on the ground. The Σ_{HH}^0 value increased by 1.2 dB in areas undergoing the early stages of deforestation. The detection timing is almost same as that using the optical sensor. On the other hand, the Σ_{HV}^0 value decreased by 3.2 dB for late-stage deforestation areas, where fallen trees were removed. The detection timing is about a few month after the detection of deforestation by Σ_{HH}^0 , or optical sensor. Many errors of the deforestation detection were observed at wet forest areas. Temporal variations of Γ^0 were observed for the area, which induces the deforestation detection errors. The variations of Γ^0 shows some correlation with precipitation for both HH and HV polarization [3], and flooding, variation of moisture for soil and trees may be the possible cause for the Γ^0 variation.

[1] ALOS-2 systematic observation strategy,

http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/top/obs_top.htm Accessed February 16, 2017

[2] JJ-FAST, http://www.eorc.jaxa.jp/jjfast/jj_index.html, February 16, 2017

[3] Manabu Watanabe, et al., Multi-temporal Fluctuations in L-band Backscatter from a Japanese Forest, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 53(11), 5799-5813, 2015

キーワード：森林監視、ALOS-2、多偏波

Keywords: Forest monitoring, ALOS-2, Polarimetry

InSAR解析とGNSSデータの比較による吾妻山火山の地殻変動 Crustal deformation around Azumayama volcano : InSAR analysis compared with GNSS data

*阿部 華菜¹、小川 佳子¹、久田 泰広¹、出村 裕英¹、三浦 哲²、小澤 拓³

*Kana Abe¹, Yoshiko Ogawa¹, Yasuhiro Hisada¹, Hirohide Demura¹, Satoshi Miura², Taku Ozawa³

1. 公立大学法人会津大学、2. 東北大学大学院理学研究科、3. 防災科学技術研究所

1. University of Aizu, 2. Graduate school of Science, Tohoku University, 3. National Research Institute for Earth Science and Disasters

Japan is located in a subduction zone where we suffer from a lot of natural disasters, earthquakes and volcanic eruptions. The volcanic monitoring and disaster control are still very behind compared with the preparations for earthquakes. Our long-term objective is multi-dimensional or perspective monitoring of active volcanoes to prepare for potential eruptions. We hope to contribute to the regional disaster control or reduction in Fukushima Prefecture.

Azumayama volcano is one of the 5 active volcanoes in Fukushima Prefecture and located near the border with Yamagata Prefecture. Azumayama volcano had been issued the volcanic alert level 2 from winter 2014 to fall 2016, which was the highest in Fukushima Prefecture, although currently it is issued level 1 as of mid-February 2017. However, the successive monitoring of Azumayama volcano is still most necessary. The examination of crustal deformation around Azumayama volcano was conducted recently by Muto et al. [2016]. They tried to investigate time-series of surface uplift and subsidence during fall 2014-fall 2015 based on InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) analysis combining with GNSS observation. This study followed the method of Muto et al. [2016] introducing the latest data after fall 2015 and also all the available data which are observed by the Advanced Land observing Satellite2 (ALOS2) / Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR2). Muto et al. [2016] used only the part of the observed data by the same satellite. The objective of this study is to constrain the ground movement around Azumayama volcano more minutely and precisely.

The results of InSAR analyses showed the uplift around the Oana crater during 2014/9/9-2015/6/2 which match the results of Muto et al. [2016] and also the 134th the Coordinating Committee for Prediction of Volcanic Eruption.

We observed the possible subsidence during 2015/9/10-2015/10/8 at the west of Azumayama volcano. The GNSS observation data showed good agreement with the InSAR results for the uplift at the Oana crater. Whereas, as for the west of Azumayama volcano, we can not compare the InSAR results with GNSS data because no GNSS station exists around there.

Unwrapping bias appeared in the 2 pairs of the InSAR analyses results images. The crustal deformation estimated by InSAR analysis showed slightest agreement with GNSS observation for the 2 pairs, but the relative deformation among the different sites estimated by InSAR analysis match well with those observed by GNSS observation for both of the 2 pairs.

Weather noise existed in the InSAR results of the 2 pairs: 2015/7/30-2015/10/8 and 2015/9/10-2015/10/8. For such pairs, the results of InSAR analysis did not match GNSS observation. Water vapor is generally responsible for such noise, so we tried to constrain the source quantitatively to evaluate and eliminate the noise. First, we checked to the record of rainfall. In the Washikura observation station, which locates just ~6 km away from the Azumayama volcano, almost no rain was observed on both days of 2015/7/30 and 2015/10/8. Only a small amount of rain (about 0.5 mm per 10 minutes) was observed on 2015/9/10. However, locally heavy rain fell in the northern area of Kanto was reported on

2015/9/10, which might be related to the above noise. Second, we referred to weather and water vapor maps. A weather map showed that a typhoon approached on 2015/10/8. A sudden break of water vapor seems to stay around Azumayama volcano based on the water vapor map on 2015/10/8. The fact might be connected to the weather noise seen on the InSAR image. It was still difficult, however, to specify the cause of the weather noise for the 2 pairs of InSAR analysis.

In this study, we could not afford to reduce the noise indicated by some pairs of InSAR analysis, however, constrained the ground movement around Azumayama volcano after fall 2014 based on the InSAR analysis combining with GNSS observation, introducing the latest observation data.

キーワード：吾妻山、地殻変動、干渉SAR、火山防災、GNSS

Keywords: Azumayama volcano, Crustal deformation, InSAR, volcanic disaster prevention, GNSS

SAR解析による2015年桜島ダイク貫入イベント前後の地殻変動および火口の深さの変化

Crustal deformation and crater depth change before and after the 2015 dyke intrusion event of Sakurajima volcano investigated by SAR analysis

*小澤 拓¹、宮城 洋介¹

*Taku Ozawa¹, Yosuke Miyagi¹

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disasters Resilience

桜島では2015年8月15日に南岳直下付近を震源とする火山性地震の発生回数が増加し、さらに島内に設置されている傾斜計や伸縮計によって、山体膨張を示す急激な地殻変動が観測された。また、陸域観測技術衛星「だいち2号」のPALSAR-2のSAR干渉解析から、この活動に伴うと考えられる地殻変動が検出された。この結果は、昭和火口付近に南西端を持つ開口断層（体積増加量：約1.6百万立米）によって良く説明される（たとえば、小澤ほか2016, Morishita *et al.*, 2016）。これらの結果から、桜島の地下において、ダイク貫入イベントが発生したと考えられる。

本研究においては、SAR解析により、そのイベント前後の地殻変動および火口の深さの変化を調査した。SAR干渉解析による地殻変動検出においては、数値気象モデルに基づく大気遅延誤差軽減手法（たとえば、小澤・清水, 2010）と、スプリットスペクトル法による電離圏遅延誤差軽減手法（たとえば、Gomba *et al.*, 2015）を適用した。PALSAR-2の南行軌道の右方向視で観測されたデータの解析結果においては、貫入イベント直前に、桜島東部において、5cmを超える衛星-地表間距離（スラントレンジ）の短縮変化が求められた。これが大気遅延等による非地殻変動成分ではなく、実際の地殻変動シグナルであるかどうかについては、さらなる調査が必要である。一方、貫入イベント後においては、昭和火口の東側において、スラントレンジ伸長の変化が求められた。この変化は、貫入イベント直後からみられ、時間と共に減衰する傾向を持つことが特徴の一つである。このことから、この地殻変動は、貫入イベントに関係すると推測されるが、ダイク貫入に伴う地表変動とは、明らかに空間分布が異なることから、推定されている開口断層とは別のメカニズムを考える必要がある。一方、北岳の北西においては、スラントレンジ短縮変化が求められた。この変化は2016年夏ごろから開始したように見えることが特徴の一つである。

昭和火口周辺で見られるレイオーバーの形状から、2015年以降の火口の深さの変化を推定した。噴火が多発する時期に、わずかな火口底の深さの変化が見られるが、数10mを超えるような大きな変化は求められなかった。このことは、ダイク貫入イベント以降において、昭和火口直下の圧力状態は大きくは変化していない可能性を示唆する。

キーワード：合成開口レーダー、地殻変動、桜島

Keywords: SAR, Crustal deformation, Sakurajima

衛星合成開口レーダ干渉による雲仙普賢岳溶岩ドームの滑落現象の面的解析

Two dimensional analysis on slope slide of Unzen lava dome using space-borne InSAR

*村上 亮¹

*Makoto Murakami¹

1. 国立大学法人北海道大学

1. Hokkaido University

1. はじめに

1990-1995年噴火において雲仙普賢岳山頂に形成された溶岩ドーム群は、急峻な斜面に厚く蓄積した火砕堆積物層に覆いかぶさるように、不安定に定置しており、その突然の崩壊の危険性に対しては、周辺自治体や住民が重大な関心を寄せている。山頂部に近い平成新山付近で実施されたGPSの繰り返し観測からは、継続する塑性変形（沈降と周囲への流動）が確認されている（例えば、高木，2002）。また、第11ローブ周辺を対象とする、国土交通省による光波・GBSARによる地上観測からは、ドームの沈降や斜面に沿った東向きの移動現象が把握され、その移動速度はほぼ一定で年間約10cm程度であることが確認されている。しかし、地上観測がカバーできる空間範囲は限られており、滑落に伴う変形が及んでいる領域の境界や、変動領域内部における速度分布の詳細には不確定性が残っており、崩壊が発生した場合のハザード予測の高精度化を困難にしている。

一方、衛星搭載SARによる干渉解析（InSAR）は、地上観測のみでは捕捉できない移動領域の空間範囲や移動量の2次元的分布を詳細に捉えることを可能とする。衛星InSARと地上観測等の多項目のデータを統合し、それぞれの特長をより生かし弱点を補完し合う解析をすることで、滑落現象のより詳細な理解が可能となる。さらに、それに基づいた数値モデルを構築して、予測精度の向上に寄与することが期待される。しかしながら、これまで、衛星InSAR結果については、断片的に報告された例はあるものの、長期間にわたって一貫して解析・検討した報告例はまだない。本研究では、雲仙普賢岳の領域が含まれるALOS/PALSARおよびALOS2/PALSAR2の利用可能なペアについてできるだけ多数の組み合わせを解析し、PaISARが運用開始した2006年以降のドーム滑動現象の空間分布の長期的推移や、2016年熊本地震の影響の有無などを検討する。

2. PaISARおよびPaISAR2の解析結果

ALOS/PALSARおよびALOS2/PALSAR2の利用可能なペアについてできるだけ多数の組み合わせを解析し、以下の知見を得た。

(1) ドームの滑動の空間パターン

観測変動領域は、少なくとも2つの変動ユニットから構成されている。より西側の変動ユニットは、平成新山にほぼ一致しており、沈降成分が卓越している。これは、高木他（2002）の結果と調和的である。一方、東側の活動ユニットの中心は、第11ローブとほぼ重なっており、地形の最大傾斜方向への滑動と考えられる。しかし、第11ローブの周囲にも変動領域が分布しており、速度は周辺に向かって減衰している。これは、滑動メカニズムが、剛体が内部形状を保ったまま平行移動する単純なブロック滑りではないことを示している。おそらく、破砕物からなる支持層にも影響を及ぼしながら、全体として流動もしくは滑動するようなメカニズムを考える必要があることを示唆していると考えられる。以上の知見は、衛星SARにより初めて明らかにされたものである。

(2) 2016年熊本地震による影響：

まず、PALSAR2の同一軌道から構成される熊本地震を挟むペアと挟まないペアを比較し、熊本地震時の強震動にトリガーされたCo-Seismicな滑動が発生していなかったことを確認した。

一方、地震による影響で、変動状態が中長期的に影響をうける可能性がある。地震前後の長期間のペアを比較して、その可能性を検証した。予稿執筆時点で、比較に使用できる地震後のペアは1ペアのみである。したがって、確定はできないものの、ドームの中央に近い部分的な領域で、滑落速度の増大が発生している可能性が示唆された。しかしながら、同じ領域のコヒーレンスにも地震前後で変化が生じている。今回検出された速度変化（具体的にはフリンジの位相変化）の解釈として、2つの可能性が残る。一つ目は、実際に加速が生じており、その結果としてコヒーレンスが低下したという解釈であり、この場合は、コヒーレンス変化も速度変化の証拠の一つと考えられる。逆に、二つ目は、コヒーレンスの低下は、別の原因で発生しており、位相として示唆された速度変化は、コヒーレンス劣化をもたらした偽像であるとする解釈である。現時点では、地震後のデータが一つしかないため、これ以上の検討はできない。さらにデータの蓄積を待って、検証する必要がある。

(2) PaISARデータを含めたより長期間（2006-2016）の変動パターンおよび速度の変化の有無：

PaISARデータの時系列解析は、処理の途上で終了していないが、概略の結果として、2006-2016間で滑動速度に大きな変化は生じていなかった可能性が高い。この結論は、地上観測の結果とも調和的である。しかし、空間パターンの変化の有無については、今後、詳細な検証が必要である。

3. 課題と展望

地震により、中長期的に変動状態が影響され、例えば、変動速度に変化が生じた可能性がある。地震前後の長期間のペアを比較して、その可能性を検証した。予稿執筆時点で、比較に使用できる寺院後のペアは1ペアのみである。したがって、信頼性に制約がつくものの、ドームの中央に近い部分的な領域で、滑落速度の増大が発生している可能性が示唆された。しかしながら、同じ領域のコヒーレンスにも地震前後で変化が生じており、速度変化の可能性の指摘にとどまっている。さらにデータの蓄積を待って、検証する必要がある。また、滑動のキネマティクスを詳細に明らかにした後は、それを説明する数値モデルを構築し、予測の高精度化につなげることが重要である。

キーワード：火山、溶岩ドーム崩落、リモートセンシング、合成開口レーダー、干渉SAR、雲仙岳

Keywords: Volcano, Collapse of Lava Dome, Remote Sensing, SAR, InSAR, Unzen

InSARとGPSデータの解析による台湾の非地震性地殻変動の観測

Observation of aseismic crustal deformation in Taiwan by analysis of InSAR and GPS data

*塚原 弘太郎¹、高田 陽一郎¹

*Kotaro Tsukahara¹, Youichiro Takada¹

1. 北海道大学 大学院理学院

1. Graduate school of science Hokkaido University

一般にInSARによる非地震性地殻変動の検出は困難である。これはInSAR画像に地殻変動と同程度の長波長の誤差が含まれていることが原因である。そこで本研究では、InSAR画像をGPS速度場を用いて補正することで台湾南西部の非地震性地殻変動を検出することを目的とする。台湾南西部は大きな地震が観測されていない地域であるが、非常に変形速度が大きいため非地震性地殻変動の検出を期待できる。またGPS観測網が整備されているため、それを用いて長波長のノイズを補正することが出来る。先行研究ではCバンド衛星を用いて観測を行っているが(Huang et al, 2016)、植生に覆われた地域の地殻変動を検出できていない。そこで、本研究では植生を透過するLバンド衛星であるALOSおよびALOS2のデータを使用した。

上昇軌道のデータとしては、2007年3月4日と2009年10月25日のペア(1)、2008年4月21日と2011年3月15日のペア(2)、2008年6月6日と2010年10月28日のペア(3)を、下降軌道については2007年2月18日と2008年11月23日のペアを用いて干渉画像を作成した。これらのペアは時間基線長が大きいこと、垂直基線長が小さいこと、そしてペア同士が独立であることを基準として選別した。干渉処理にはGAMMAを、DEMにはSRTMを使用した。

三枚の上昇軌道の干渉画像をGPS速度場(Tsai et al., 2015)を用いて補正したところ、互いに類似した速度場が得られた。これらの画像をスタックしてさらにノイズを軽減した。また下降軌道の干渉画像も同様に補正を行った。これらの画像を用いて2.5次元解析を行い準上下・準東西方向の変位を得た。準上下方向成分を見ると南北約25km、東西約5kmの範囲で、図1のように激しい隆起が起こっている。南部よりも北部の方が隆起速度が速く、また西部では隆起速度は滑らかに変化しているが東部では急激に変化している。水準測量の側線は隆起が見られる範囲の南部の一部を通っており(図1)、最大隆起速度は年間約20mmである(Ching et al., 2016)。これに対してInSARによって観測された最大隆起速度は年間約45mmと遥かに大きい。また、隆起を起こしている領域の東端では、準東西方向の変位速度場に大きな不連続が見られる。この地域では近年大きな地震は起こっていないため、我々がInSARで検出した激しい地殻変動は非地震性的のものである。隆起域南部の速度は水準測量の結果と調和的であり、精度良く補正することが出来ていることが分かった。

Ching et al (2016)では水準測量の結果を断層運動だけでは説明できず、mud diapirも必要であるとしている。我々が発見した研究地域北部の激しい地殻変動も断層運動だけで説明することは難しく、mud diapirが重要な要素であると思われる。一方ALOS-2で2016年2月5日に発生したMeinong地震(M6.4)に伴う地殻変動を観測したところ、隆起域の東端(図1のAA')に変位の不連続が見られた。従って、我々が検出した非地震性の隆起運動は本質的にはmud diapirによって駆動されているが、既存の断層も弱面として利用していることが分かる。

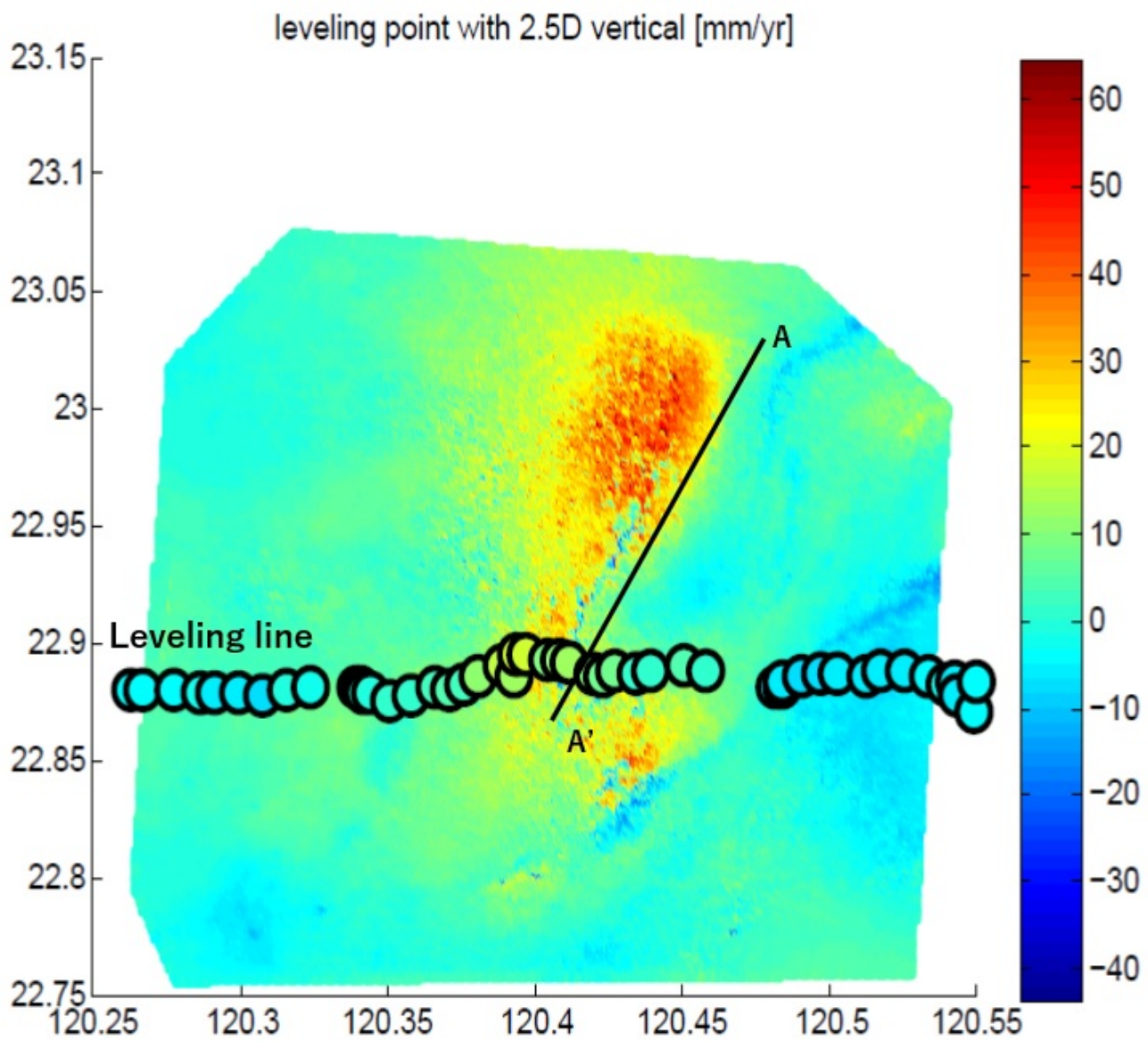
謝辞

Yoko Tuさんからは台湾のテクトニクスについてコメントを戴いた。

本研究で用いたALOS、ALOS-2データはPIXEL(PALSAR interferometry Consortium to Study to Evolving Land surface)において共有されているものであり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)と東京大学地震研究所との共同研究契約によりJAXAから提供された。

キーワード : InSAR、GPS、ALOS、PALSAR、非地震性地殻変動

Keywords: InSAR, GPS, ALOS, PALSAR, aseismic crustal deformation



ALOS-2のSARによってとらえられた釧路湿原の2016年の大雨による地表変位

Displacement in Kushiro-shitsugen (wetland) induced by heavy rainfall in 2016 detected by ALOS-2 SAR

*藤原 智¹、森下 遊¹、中埜 貴元¹、三浦 優司¹、攪上 泰亮¹

*Satoshi Fujiwara¹, Yu Morishita¹, Takayuki Nakano¹, Yuji Miura¹, Yasuaki Kakiage¹

1. 国土地理院

1. GSI of Japan

1. はじめに

国土地理院では、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)のSARデータを用いて全国の地表変位の監視を行っている。監視の対象となるのは主に地震・火山活動・地すべり・地盤沈下に伴うものである。しかし、これら以外にも様々な要因によって地表の変位が発生しており、地殻変動等の検出にとってはノイズともなるので、様々な地表変位事象の形態や原因を解明することが重要である。

本報告では、2016年夏の大雨に伴う釧路湿原で発生した最大2mを超える地表変位を取り扱う。一般に、水面はレーダー電波が鏡面反射してしまうために、後方散乱が小さくなるだけでなく、風等で波が発生してしまうとSAR干渉法での干渉性が低下してしまうため、変位の検出はほとんどできない。一方、湿原では、繁茂する植物が波の発生を抑えるほか、水面一植生の2段階でレーダー電波が反射することで比較的良好な干渉性が得られることがよくあり、Wetland InSARとも呼ばれる解析対象となっている。

2. 釧路湿原と2016年の大雨

釧路湿原は北海道東部の釧路川に沿って存在する我が国最大の湿原である。湿原全体に蛇行する河川が存在し、ヨシが繁茂するほか、ハンノキが散在している。こうした植生だけでなくタンチョウ等の繁殖地としても知られ、湿原の動植物のエコシステムを形成しており、特に水に関する保全とモニタリングの必要性は高い。なお、釧路湿原は釧路平野の大部分を占めており、地盤沈下の監視対象でもある。

2016年8月に発生した台風第7号、第11号、第9号は、それぞれ8月17日、21日、23日に北海道に上陸した。その後、台風第10号は、8月30日に暴風域を伴ったまま岩手県に上陸し日本海に抜けた。これらの台風等の影響で北海道では記録的な大雨となり、釧路川の岩保木(図参照)での水位観測によれば、8月後半から急激に水位が上昇し、平年に比べて1m以上高い水位が9月にかけて続くことになった。

3. SAR画像による地表変位の検出

ALOS-2のSARデータを用いて、SAR干渉法とピクセルオフセット法を用いて釧路湿原での地表変位を検出した。

(1) 干渉SAR

2016年5月28日～8月6日、7月4日～9月12日、8月6日～10月29日及び9月12日～12月5日(南行軌道右観測)及び6月13日～11月14日(北行軌道右観測)の5ペアのSAR干渉画像を比べた。

・5月28日～8月6日：一部の河川に沿って最大10cm程度の衛星に近づく小さな変位が見られる。なお、こうした変動は平年でも湿原内でよく見られる。

・7月4日～9月12日(図左)：一部の河川に沿って最大60cm程度の衛星に近づく大きな変位が見られるほか、鶴居村中雪裡に900m×650m程の楕円形の領域(以下、鶴居村大変位と呼ぶ)で最大1mを超える衛星に近づく変位が見られる。湿原内では非干渉となる領域が大きい。

・8月6日～10月29日：一部の河川に沿って最大10cm程度の衛星から遠ざかる小さな変位と、鶴居村大変位で最大1mを超える衛星に近づく変位が見られる。

・9月12日～12月5日：一部の河川に沿って最大60cm程度の衛星から遠ざかる大きな変位が見られる。鶴

居村大変位自体には大きな変化は見られない。

・ 6月13日～11月14日（図右）：鶴居村大変位で約50cm程度の衛星から遠ざかる変位が見られる。その他の変位は小さい。

（2）ピクセルオフセット

干渉SARで大きな変位が見出された7月4日～9月12日の画像ペアに対してピクセルオフセット法による変位を求め、下記の結果を得た。

・ 一部の河川沿いには数十cmの衛星に近づく変位があり、それらの衛星進行方向成分（南南西）はほぼゼロである。

・ 鶴居村大変位は、衛星に最大1.3m近づき、衛星進行方向成分（南南西）の変位は最大1.5mである。

4. 考察

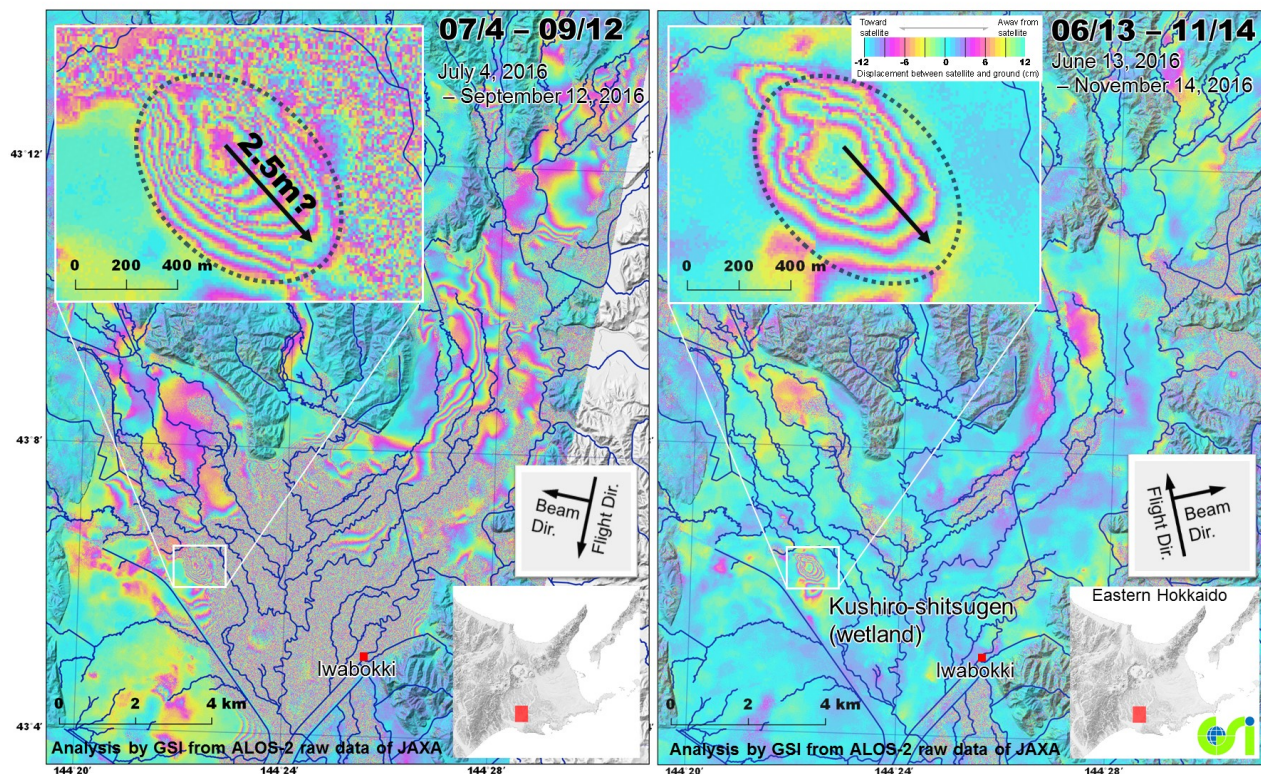
以上から下記のことが推定される。

（1）大雨による水位の上昇に比例するように、釧路湿原内の一部の河川に沿って地表の隆起が見られる。水位が低下すると、ほぼ元の状況に戻る。

（2）鶴居村大変位は8月6日から9月12日の間に発生し、これは水位の急上昇の時期と一致している。この変位はそのまま残っており、その後の水位低下によっても元に戻っていない。鶴居村大変位の周辺では大きな変化は見られておらず、水位自体の上昇は少なかったと推定される。したがって、鉛直成分の変位がほとんどなかったと仮定すると、鶴居村大変位自体は下流である南東方向へ最大2.5m水平に変位した。簡易的なシミュレーションからは、地下数十mの場所で数百m四方ほどの領域が側方流動的に数m水平移動したことが推定され、水流の方向へ浮島のように変位した可能性がある。

キーワード：釧路湿原、湿原、干渉SAR、ALOS-2

Keywords: Kushiro-shitsugen, wetland, InSAR, ALOS-2



Detection of the small scale subsidence in the medium-scale residential area developed in 1970s using the time series SAR interferometry.

Daiki Nakamata¹, Keisuke Tonegawa¹, *Masanobu Shimada¹

1. Tokyo Denki University, School of science and engineering

Interferometric SAR becomes a confidential technology to measure the two-dimensional surface movement (deformation) using the two microwave SAR images and their phase difference observed individually and independently. Solution examples from the InSAR method were raised recently as can be seen at i.e., the Kumamoto earthquake of 2016, Mt. Ontake eruption of 2014, and subsidence examples. Target measurement accuracy reaches to the order of the sub millimeter. Recent theme that could potentially detect is the aging and deformation of the infrastructures.

There has constructed a plenty of the new residential towns in 1970s at the economic highly growth period. Hatoyama-new town, Hatoyama-Machi, Hiki-gun of Saitama-prefecture, nearby the Tokyo Denki University Campus was established by arranging (cutting and banking) the hill zone and it built 6000 houses. Forty years have passed after the completion, while a lot of earthquakes have encountered including the March 11th 2011, Earthquake. It is the right theme to monitor if the ground of the new town is rigid or slightly subsided as the urban engineering. This study measured two dimensional subsidence rate at the Hatoyama-Newtown by interferometrically processing the ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2 data from December 2006 to June 2016, for which 11 image pairs out of 15 scenes. As a result, it found that nearby the Hatoyama-elementary school and the Shouei elementary school, there measured the subsidence of 6.83mm per year, standard deviation of 5.28mm per year while the other areas did not detect the subsidence. Through this research, we confirmed that the subsidence detection using the SAR interferometry method is very effective. In future, we will consider the integration of the InSAR method with the time series SAR data will be the confidential method for monitoring the land surface movement.

Keywords: InSAR, Subsidence rate, cutting and banking